



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 46 841 A 1

51 Int. Cl. 6:  
H 01 M 8/24  
H 01 M 8/14  
H 01 M 8/08

21 Aktenzeichen: P 44 46 841.5  
22 Anmeldetag: 27. 12. 94  
43 Offenlegungstag: 4. 7. 96

DE 44 46 841 A 1

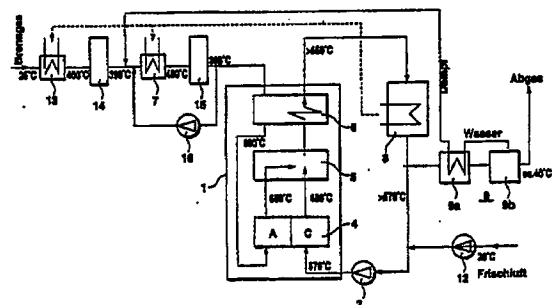
71 Anmelder:  
MTU Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen  
GmbH, 88045 Friedrichshafen, DE

72 Erfinder:  
Kraus, Peter, 85598 Baldham, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Brennstoffzellenmodul

57 Brennstoffzellenmodul mit einer durch in einem oder mehreren Brennstoffzellenstapeln (4) angeordneten Brennstoffzellen gebildet und von einem thermisch isolierenden Schutzgehäuse (2) umgebenen Brennstoffzellenanordnung mit einem Anodeneingang zur Zuführung von Brenngas zu den Anoden der Brennstoffzellen, einem Anodenausgang zur Abführung des verbrannten Brenngases von den Anoden, einem Kathodeneingang zur Zuführung von Kathodengas zu den Kathoden der Brennstoffzellen und einem Kathodenausgang zur Abführung des verbrauchten Kathodengases von den Kathoden, wobei die Brennstoffzellenanordnung mit einer katalytischen Verbrennungseinrichtung (5) zur Verbrennung brennbarer Restbestandteile des verbrannten Brenngases sowie einer Reformierungseinrichtung (6) zur Reformierung des dem Anodeneingang der Brennstoffzellen zuzuführenden Brenngases gekoppelt ist, wobei die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) und die Reformierungseinrichtung (6) mit der Brennstoffzellenanordnung in dem thermisch isolierenden Schutzgehäuse (1) zusammengefaßt angeordnet sind (Fig. 1).



DE 44 46 841 A 1

Die Erfindung betrifft ein Brennstoffzellenmodul mit einer durch in einem oder mehreren Brennstoffzellenstapeln angeordneten Brennstoffzellen gebildeten und von einem thermisch isolierenden Schutzgehäuse umgebenen Brennstoffzellenanordnung mit einem Anodeneingang zur Zuführung von Brenngas zu den Anoden der Brennstoffzellen, einem Anodenausgang zur Abführung des verbrannten Brenngases von den Anoden, einem Kathodeneingang zur Zuführung von Kathodengas zu den Kathoden der Brennstoffzellen und einem Kathodenausgang zur Abführung des verbrauchten Kathodengases von den Kathoden, wobei eine katalytische Verbrennungseinrichtung zur Verbrennung brennbarer Restbestandteile des verbrannten Brenngases sowie eine Reformiereinrichtung zur Reformierung des dem Anodeneingang der Brennstoffzellen zuzuführenden Brenngases vorgesehen sind.

Bisher bekannte Anlagen mit Hochtemperaturbrennstoffzellen, wie Brennstoffzellen mit Alkalikarbonat-Schmelzelektrolyten (MCFC-Zellen) sind aus einer Vielzahl von untereinander gastechnisch und regelungstechnisch verschalteten einzelnen Anlagenkomponenten aufgebaut. Dies mag vor allem für die Konzeption von Verwuchs- und Testanlagen eine geeignete und praktikable Technik darstellen, ist jedoch aus Gründen der großen Komplexität, mangelnder thermodynamischer Effizienz und Kosteneffizienz nicht der richtige Weg, um wirtschaftlich Anlagen zu bauen. Neuere Kostenschätzungen für nach diesen Prinzipien aufgebaute Anlagen zeigen, daß selbst unter der Annahme von in Großserie produzierten Komponenten die sogenannte "Balance of Plant", also die Anlagenperipherie etwa zwei Drittel bis drei Viertel der gesamten Investitionskosten beansprucht. Diese Peripheriekomponenten sind keine sogenannten "repeating parts" und werden somit auch in Zukunft keine nennenswerte Kostendegression erfahren. Weiterhin sind bei dieser herkömmlichen Bauweise die auftretenden Wärmeverluste nur mit einem enormen Aufwand für thermische Isolierung in Grenzen zu halten.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Brennstoffzellenmodul zu schaffen, das eine wesentliche Verminderung der Komplexität der Brennstoffzellenanlage gestattet.

Diese Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch gelöst, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung und die Reformierungseinrichtung mit der Brennstoffzellenanordnung in dem thermisch isolierenden Schutzgehäuse zusammengefaßt angeordnet sind.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Brennstoffzellenmoduls ist eine kostengünstige, serienmäßige Herstellung der Hauptkomponenten einer Brennstoffzellenanlage in einem Modul zusammengefaßt. Ein weiterer sehr beträchtlicher Vorteil ist eine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrads der das erfindungsgemäße Brennstoffzellenmodul enthaltenden Anlage durch Verminderung der thermischen Verluste. Ein weiterer Vorteil ist der verminderte Aufwand bei der Verschaltung der Hauptkomponenten der Brennstoffzellenanlage mit der dann noch notwendigen verbleibenden Anlagenperipherie, verbunden mit einer beträchtlichen Verminderung des Aufwands bei der thermischen Isolierung der Anlage.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die katalytische Verbrennungseinrichtung,

die Reformierungseinrichtung und die Brennstoffzellenanordnung ohne den Strömungsquerschnitt zwischen diesen Komponenten verengende Rohrleitungen direkt miteinander verbunden. Der Vorteil hiervon ist eine beträchtliche Verminderung der Strömungsverluste.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Brennstoffzellenmoduls ist die katalytische Verbrennungseinrichtung in dem Kathodenkreislauf zwischen den Kathodenausgang und den Kathodeneingang der Brennstoffzellenanordnung geschaltet und zum Beimischen des verbrannten Brenngases vom Anodenausgang der Brennstoffzellen in den Kathodengasstrom unter Verbrennung der brennbaren Restbestandteile des beigemischten verbrannten Brenngases ausgebildet. Der Vorteil hiervon ist die Nutzung der restlichen brennbaren Bestandteile des Anodenabgases (Brenngases) und die Bereitstellung der für die Kathoden der Brennstoffzellen notwendigen Mengen an  $\text{CO}_2$ .

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die katalytische Verbrennungseinrichtung bezüglich der Gasströmung der Brennstoffzellenanordnung nachgeschaltet und die Reformierungseinrichtung ihrerseits der katalytischen Verbrennungseinrichtung nachgeschaltet. Der Vorteil hiervon ist die Nutzung der in der katalytischen Verbrennungseinrichtung freigesetzten Wärmeenergie für den Reformierungsprozeß in der nachgeschalteten Reformierungseinrichtung.

Von besonderem Vorteil ist es, wenn die vorgenannte Ausführungsform noch dadurch weitergebildet wird, daß die Reformierungseinrichtung als Wärmetauscher-Reformiereinheit zur Übertragung der zur Reformierung benötigten thermischen Energie an das zu reformierende Brenngas aus dem heißen Abgas der katalytischen Verbrennungseinrichtung ausgebildet ist. Hierdurch wird die thermische Ausnutzung der in der katalytischen Verbrennungseinrichtung freiwerdenden Energie weiter verbessert.

Gemäß einer anderen Ausführungsform ist es vorgesehen, daß die Gasströme vom Anodenausgang und vom Kathodenausgang der Brennstoffzellen unmittelbar nach den Brennstoffzellen zusammengefaßt werden, wodurch sich vorteilhafterweise ein pneumatischer Kurzschluß ergibt, so daß jeglicher Differenzdruck zwischen den Gasströmen in der Brennstoffzellenanordnung vermieden wird, welche Differenzdrücke sonst zerstörerische Auswirkungen haben können.

Gemäß einer weiteren Ausführung ist es vorgesehen, daß eine zur Vorwärmung des Brenngases dienende Brenngasvorwärmaneinrichtung in die Wärmetauscher-Reformiereinheit integriert ist. Dies hat den Vorteil, daß die Temperatur in der Reformierungseinrichtung weiter erhöht wird, wodurch sich ein noch besserer Reformierungswirkungsgrad ergibt, da dieser umso höher ist, je heißer die Reformierungseinheit betrieben wird.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform ist es vorgesehen, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung, die Wärmetauscher-Reformiereinheit und die Brenngasvorwärmaneinrichtung als eine integrierte Einheit ausgebildet sind, in der ein rekuperativer Wärmeübergang der bei der katalytischen Verbrennung erzeugten thermischen Energie durch Metall in eine Reformierzone der integrierten Einheit erfolgt. Auch hierdurch wird vorteilhafterweise die Temperatur beim Reformierungsprozeß erhöht und der Wirkungsgrad verbessert.

Gemäß einer anderen Ausführungsform ist es vorgesehen, daß weiterhin ein Wärmetauscher zur Auskopplung von Nutzwärme aus dem Gasstrom innerhalb des

Schutzgehäuses angeordnet ist. Hierdurch wird der Schaltungsaufwand an der Anlagenperipherie weiter vereinfacht.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist eine innerhalb des Schutzgehäuses angeordnete und durch einen außerhalb des Schutzgehäuses befindlichen Antrieb angetriebene Gebläseeinrichtung zur Umwälzung des Kathodengasstroms vorgesehen. Dies kann dadurch weitergebildet sein, daß die Gebläseeinrichtung in Strömungsrichtung vor der Brennstoffzellenanordnung angeordnet und mit den Kathodeneingängen gekoppelt ist. Hierdurch wird die strömungstechnische Verschaltung innerhalb des Moduls wesentlich vereinfacht.

Die beiden vorgenannten Ausführungsformen können weiterhin dadurch ausgestaltet sein, daß die Gebläseeinrichtung mit ihrem Antrieb über eine durch das Schutzgehäuse geführte Kraftübertragungseinrichtung, insbesondere eine Antriebswelle gekoppelt ist, über die Frischluft von außerhalb des Schutzgehäuses unter Kühlung der Kraftübertragungseinrichtung in den Kathodengasstrom eingeführt wird. Hierdurch wird die thermische Belastung der Gebläseeinrichtung vermindert und dadurch deren Standzeit wesentlich verbessert.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann es vorgesehen sein, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung durch eine auf der gasseitigen Oberfläche des Wärmetauschers aufgebrauchte katalytisch wirksame Beschichtung gebildet ist, wobei das zu verbrennende Anodengas (Brenngas) dem Kathodengasstrom vor oder in dem Wärmetauscher beigemischt wird. Die beträchtlichen Vorteile dieser Ausführungsform sind, daß der katalytische Brenner entfällt, daß die Verbrennungswärme der Brenngasreste direkt auf der Wärmetauscheroberfläche freigesetzt und somit ein optimaler Übergang in den Nutzwärmekreislauf gewährleistet ist, und daß die katalytische Substanz optimal gekühlt und deren Überhitzung sicher vermieden wird.

Dies kann dadurch weitergebildet sein, daß die katalytisch wirksame Beschichtung durch eine Nickelschicht gebildet ist. Der Vorteil hiervon ist eine besonders kostengünstige Herstellung der katalytischen Verbrennungseinrichtung.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, daß die in dem Schutzgehäuse zusammengefaßten Komponenten eine bauliche Einheit bilden. Hierdurch wird eine hohe Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung des Brennstoffzellenmoduls und beim Bau der Brennstoffzellenanlage gewährleistet.

Schließlich ist es gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen, daß der Brennstoffzellenmodul mit weiteren Modulen zur Bildung größerer Brennstoffzellenanlagen koppelbar ist. Hierdurch ist es vorteilhafterweise möglich, auch größere Anlagen durch modularen Aufbau kostengünstig herzustellen.

Im folgenden wird zunächst der herkömmliche Aufbau einer Brennstoffzellenanlage und dann ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Beispiels einer Brennstoffzellenanlage mit einem Brennstoffzellenmodul gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine Schnittansicht durch ein Brennstoffzellenmodul gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Brennstoffzellenanlage herkömmlichen Aufbaus.

Zunächst soll anhand der Fig. 3 ein Beispiel einer herkömmlich aufgebauten Brennstoffzellenanlage erläutert werden. Ein Brennstoffzellenstapel 4, der durch eine Anordnung von Hochtemperaturbrennstoffzellen mit Alkalikarbonat-Schmelzelektrolyten (MCFC-Zellen) gebildet ist, enthält im Kathodenkreislauf eine an den Kathodeneingang angeschlossene katalytische Verbrennungseinrichtung 5 sowie zwischen den Kathodenausgang des Brennstoffzellenstapels 4 und die katalytische Verbrennungseinrichtung 5 geschaltet einen Wärmetauscher 8 zur Nutzwärmeauskoppelung und eine Gebläseeinrichtung 2 zur Aufrechterhaltung des Kathodenkreislaufs. Das letztlich dem Anodeneingang des Brennstoffzellenstapels 4 zuzuführende Brenngas wird zunächst einer Entschwefelungseinrichtung 14 und danach einer Vorreformierungseinrichtung 15 und vor dort über einen Wärmetauscher 17 zur Brenngasvorheizung dem Anodeneingang des Brennstoffzellenstapels 4 zugeführt. Vom Anodenausgang des Brennstoffzellenstapels 4 wird das verbrannte Brenngas über die andere Seite des Wärmetauschers 17 zur Brenngasvorheizung einer Kondensationseinrichtung 9b zugeführt, wo das in dem verbrannten Brenngas enthaltene Wasser abgetrennt wird. Von der Kondensationseinrichtung 9b wird das Wasser zum Teil über einen Dampfgenerator 9a zwischen der Entschwefelungseinrichtung 14 und der Vorreformierungseinrichtung 15 als Dampf in das zugeführte Brenngas beigemischt und im übrigen verworfen. Von der Kondensationseinrichtung 9b wird das verbrannte Anodenabgas zwischen der Gebläseeinrichtung 2 und der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 in den Kathodengasstrom zugemischt. Aus dem Kathodengasstrom wird das überschüssige Abgas über die Primärseite eines Abgaswärmetauschers 18 an die Umgebung abgegeben. Das abgegebene Abgas wird durch Frischluft ersetzt, die durch ein Frischluftgebläse 12 angesaugt und über die Sekundärseite des Abgaswärmetauschers 18 zwischen der Gebläseeinrichtung 2 und der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 in den Kathodengaskreislauf gemischt wird.

Bei einem solchen herkömmlichen Aufbau einer Anlage mit Hochtemperaturbrennstoffzellen sind somit eine große Anzahl von einzelnen Komponenten gastech-nisch und regelungstechnisch miteinander zu verschalten. Dies hat die genannten Nachteile, nämlich daß zum einen beträchtliche Kosten an der Anlagenperipherie entstehen, und zum anderen, daß ein hoher Isolationsaufwand betrieben werden muß, um die Wärmeverluste an den auf hoher Temperatur arbeitenden Anlagenkomponenten und den Leitungsverbindungen dazwischen in Grenzen zu halten.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Brennstoffzellenanlage mit einem Brennstoffzellenmodul nach einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Ein Brennstoffzellenstapel 4 ist zusammen mit einer katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 und einer Wärmetauscher-Reformereinheit 6 von einem Schutzgehäuse 1 umgeben, welches die drei Komponenten 4, 5 und 6 auch gegen die Umgebung thermisch isoliert. Der Brennstoffzellenstapel 4 verfügt über einen Anodeneingang zur Zuführung von Brenngas zu den Anoden der Brennstoffzellen, einen Anodenausgang zur Abführung des verbrannten Brenngases von den Anoden, einen Kathodeneingang zur Zuführung von Kathodengas (Oxidatorgas) zu den Kathoden der Brennstoffzellen, sowie einen Kathodenausgang zur Abführung des verbrauchten Kathodengases von den Kathoden. Der Anodenausgang und der Kathodenausgang sind direkt mit der ka-

talytischen Verbrennungseinrichtung 5 gekoppelt, wo das verbrannte Brenngas dem die katalytische Verbrennungseinrichtung 5 passierenden Kathodengasstrom beigemischt wird. Der Ausgang der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 ist mit dem Eingang der Primärseite der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 gekoppelt, deren Ausgang mit der Primärseite eines außerhalb des Schutzgehäuses 1 befindlichen Wärmetauschers 8 zur Auskoppelung der Nutzwärme aus dem Kathodengasstrom verbunden ist. Der Ausgang der Primärseite des Wärmetauschers 8 ist über eine Gebläseeinrichtung 2 mit dem Kathodeneingang des Brennstoffzellenstapels gekoppelt, wodurch der Kathodenkreislauf geschlossen wird. Das in dem Brennstoffzellenstapel 4 zu verbrennende Brenngas wird einer Brenngasvorwärmungseinrichtung 13 zugeführt. Diese ist mit einer Entschwefelungseinrichtung 14 gekoppelt, welche ihrerseits über einen Wärmetauscher 7 zur Brenngasvorwärmung an eine Vorreformierungseinrichtung 15 angeschlossen ist. Der Ausgang der Vorreformierungsvorrichtung 15 ist mit dem Eingang der Reformierungseinrichtung in der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 gekoppelt, deren Ausgang an den Anodeneingang des Brennstoffzellenstapels 4 angeschlossen ist. Am Ausgang der Vorreformierungseinrichtung 15 zweigt eine Leitung zu einer Gebläseeinrichtung 16 ab, mit der ein Teil des die Vorreformierungseinrichtung 15 verlassenden Gasstroms zum Eingang der Brenngasvorwärmungseinrichtung 7 zurückgeführt wird. In Richtung des Gasstroms nach dem Wärmetauscher 8 zweigt von der den Wärmetauscher 8 mit der Gebläseeinrichtung 2 verbindenden Leitung eine Leitung ab, die einen Abgasweg 9 bildet, in den ein Dampferzeuger 9a mit ihrer primären Seite und eine Kondensationseinrichtung 9b geschaltet ist. Von der Flüssigkeitsseite der Kondensationseinrichtung 9b führt eine Leitung zur Sekundärseite des Dampferzeugers 9a, um dieser einen Teil des in der Kondensationseinrichtung 9b kondensierten Wassers zur Verdampfung zuzuführen, von wo eine Dampfleitung zurück in den Brenngasweg führt und dort in die Leitung zwischen der Entschwefelungseinrichtung 14 und dem Wärmetauscher 7 zur Brenngasvorwärmung mündet. Das über den Abgasweg 9 aus dem Kathodenkreislauf entnommene Abgas wird durch Frischluft ersetzt, die über ein Frischluftgebläse 12 in die Leitung zwischen dem Nutzwärmetauscher 8 und der Gebläseeinrichtung 2 eingebracht wird.

Das durch die Gebläseeinrichtung 2 geförderte Kathodengas (Oxydatorgas) erreicht den Kathodeneingang des Brennstoffzellenstapels 4 mit einer Temperatur von ca. 570°C, wird durch die Brennstoffzellenreaktionen aufgeheizt und verläßt den Brennstoffzellenstapel 4 mit ca. 650°C. Da an dieser Stelle immer noch genügend Sauerstoff in dem Kathodengas enthalten ist, dient dieses als Oxidans in der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5, wo die restlichen brennbaren Bestandteile des vom Anodenausgang des Brennstoffzellenstapels 4 beigemischten Anodenabgases (Brenngases) katalytisch verbrannt und dabei auch das für den Kathodenbetrieb notwendige CO<sub>2</sub> erzeugt wird. Durch die katalytische Verbrennung wird das Gas weiter aufgeheizt, da auch das Anodenabgas mit etwa 650°C in den katalytischen Brenner eintritt. Das heiße Produktgas der katalytischen Verbrennungseinrichtung heizt im weiteren Verlauf die Wärmetauscher-Reformereinheit, wo die endothermen Reformierreaktionen des Brenngases erfolgen, und gelangt mit einer Temperatur von nicht unter 650°C zu dem Wärmetauscher 8 zur Nutz-

wärmeauskoppelung. Durch die Auskoppelung der Nutzwärme wird das Kathodengas auf eine Temperatur von nicht weniger als 570°C abgekühlt, wonach es durch Abgabe eines Teils des Kathodenabgases in den Abgasweg 9 und Ersatz desselben durch über das Frischluftgebläse 12 zugeführte Frischluft mit einer Temperatur von etwa 570°C wieder den Kathodeneingang erreicht. Der Gasfluß im Kathodenkreis ist so abzustimmen, daß diese sich als vorteilhaft herausgestellten Temperaturen im wesentlich eingehalten und der Kühlbedarf des Brennstoffzellenstapels 4 gedeckt ist.

Das Brenngas, das zunächst in der Brenngasvorwärmungseinrichtung 13 von Umgebungstemperatur von etwa 25°C auf etwa 400°C aufgewärmt wird, wird nach dem Durchlaufen der Entschwefelungseinrichtung 14 mit einer Temperatur von etwa 390°C dem Wärmetauscher 7 zur weiteren Brenngasvorwärmung auf eine Temperatur von etwa 480°C zugeführt, wonach es die Vorreformierungseinrichtung 15 durchläuft. Bei der Vorreformierungsreaktion kühlt sich das Brenngas von den genannten 480°C auf etwa 368°C ab. Die für die Reformierungsreaktionen erforderliche Dampfmenge wurde dem Brenngas vom Dampferzeuger 9a nach der Entschwefelungseinrichtung 14 zugeführt.

Von der Vorreformierungseinrichtung 14 wird das Brenngas der Reformierseite der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 zugeführt, wo es erforderlichenfalls aufgeheizt, reformiert und dem Anodeneingang des Brennstoffzellenstapels 4 mit einer Temperatur von etwa 600°C zugeführt wird. Je heißer der Reformierungsprozeß in der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 betrieben wird, desto besser ist der Reformierungswirkungsgrad. Daher ist es besonders günstig, daß die Wärmetauscher-Reformereinheit mit dem von der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 abgegebenen heißen Kathodenkreisgas beheizt wird.

Fig. 2 zeigt im Querschnitt ein Brennstoffzellenmodul gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung. In einem Schutzgehäuse 1, das gegen die Umgebung thermisch isoliert ist, sind zwei Brennstoffzellenstapel 4 zu einer Brennstoffzellenanordnung zusammengefaßt, deren Kathodeneingänge über eine Luftthutze mit einer ebenfalls innerhalb des Schutzgehäuses 1 angeordneten Gebläseeinrichtung gekoppelt ist, die als Axialgebläse ausgebildet ist. Dieses Axialgebläse dient dazu, den Kathodengaskreislauf aufrecht zu erhalten. Die Anodeneingänge der beiden Brennstoffzellenstapel sind über jeweilige seitlich angebrachte Brenngaszuführungen (Manifolds) 10 mit der Reformierungsseite einer Wärmetauscher-Reformereinheit 6 gekoppelt. Die Anodenausgänge der Brennstoffzellenstapel 4 sind über eine zentrale Gasabführungseinrichtung (Manifold) 11 mit einer katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 gekoppelt, deren Ausgang mit dem Eingang der Wärmetauscherseite der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 gekoppelt ist. Das Kathodenabgas wird direkt von den Kathodenausgängen an die katalytische Verbrennungseinrichtung 6 abgegeben. Weiterhin sind in dem Schutzgehäuse 1 auch ein Wärmetauscher 7 zur Brenngasvorwärmung und ein Wärmetauscher 8 zur Auskoppelung der Nutzwärme aus dem Kathodengasstrom angeordnet.

Die Gebläseeinrichtung 2 wird von einem außerhalb des Schutzgehäuses angeordneten Antrieb über eine Welle angetrieben, welche hohl ist, um über die hohle Welle die Frischluft für den Kathodengasstrom zuzuführen. Durch diese Frischluftzufuhr wird die Gebläseeinrichtung 2, insbesondere deren Lagerung gekühlt. Aus

dem Kathodengasstrom wird das Abgas über den Abgasweg 9, welcher einen Dampferzeuger 9a und eine Kondensationseinrichtung 9b enthält, an die Umgebung abgegeben.

Mittels der Gebläseeinrichtung 2 wird der Kathodengasstrom innerhalb des Schutzgehäuses 1 umgewälzt, wobei der Kathodengasstrom von der Gebläseeinrichtung 2 zunächst in die Kathodeneingänge der Brennstoffzellenstapel 4 eintritt und nach deren Passieren als verbrauchtes Kathodenabgas von den Kathodenausgängen in die katalytische Verbrennungseinrichtung 5 eintritt, wo auch der von der Anodengasabführungseinrichtung 11 abgeführte Strom des verbrannten Anodengases (Brenngases) beigemischt wird. In der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 werden die restlichen brennbaren Bestandteile des Anodenabgases verbrannt und dadurch das Gasgemisch im Kathodenkreis weiter erhitzt. In der sich unmittelbar an die katalytische Verbrennungseinrichtung anschließenden Wärmetauscher-Reformereinheit 6 wird die in der katalytischen Verbrennungseinrichtung 5 freigesetzte Wärme dazu verwendet, die endothermen Reformierreaktionen bei hohen Temperaturen durchzuführen.

Der die Wärmetauscher-Reformereinheit 6 verlassende Kathodengasstrom wird dann durch die Primärseite des Wärmetauschers 7 zur Brenngasvorwärmung geführt, über dessen Sekundärseite das darin vorgewärmte Brenngas in die Reformierseite der Wärmetauscher-Reformereinheit 6 geleitet wird. Nach dem Verlassen des Wärmetauschers 7 wird der Kathodengasstrom durch den Wärmetauscher 8 geführt, aus welchem die Nutzwärme ausgekoppelt wird.

Gemäß einem weiteren, in den Figuren nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispiel kann die katalytische Verbrennungseinrichtung 5 durch eine auf der gasseitigen Oberfläche eines innerhalb des Schutzgehäuses 1 angeordneten Wärmetauschers 8 zur Entkoppelung der Nutzwärme aufgebrauchte katalytisch wirksame Beschichtung gebildet sein, wobei das Brenngas vom Anodenausgang dem Kathodengasstrom vor oder in dem Wärmetauscher 8 zugemischt wird. Die katalytisch wirksame Beschichtung kann durch jeden üblichen Katalysator gebildet sein, vorteilhafterweise aber ist sie durch eine Nickelschicht gebildet. Dadurch wird die Funktion der katalytischen Verbrennungseinrichtung und des Wärmetauschers in einer Baueinheit vereint, wobei die Brenngasreste des Anodenabgases dann auf der katalytisch wirksamen Oberfläche des Wärmetauschers verbrennen. Dadurch kann zum einen eine eigens vorgesehene katalytische Verbrennungseinrichtung entfallen und andererseits wird die Verbrennungswärme der Brenngasreste direkt auf der Wärmetauscheroberfläche freigesetzt, so daß ein optimaler Wärmeübergang in den Nutzwärmekreislauf gewährleistet ist. Weiterhin wird die katalytische Beschichtung optimal gekühlt und dadurch deren Überhitzung und Verschlechterung oder Zerstörung sicher vermieden.

#### Patentansprüche

1. Brennstoffzellenmodul mit einer durch in einem oder mehreren Brennstoffzellenstapeln (4) angeordneten Brennstoffzellen gebildeten und von einem thermisch isolierenden Schutzgehäuse (2) umgebenen Brennstoffzellenanordnung mit einem Anodeneingang zur Zuführung von Brenngas zu den Anoden der Brennstoffzellen, einem Anodenausgang zur Abführung des verbrannten Brennga-

ses von den Anoden, einem Kathodeneingang zur Zuführung von Kathodengas zu den Kathoden der Brennstoffzellen und einem Kathodenausgang zur Abführung des verbrauchten Kathodengases von den Kathoden, wobei die Brennstoffzellenanordnung mit einer katalytischen Verbrennungseinrichtung (5) zur Verbrennung brennbarer Restbestandteile des verbrannten Brenngases sowie einer Reformiereinrichtung (6) zur Reformierung des dem Anodeneingang der Brennstoffzellen zuzuführenden Brenngases gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) und die Reformierungseinrichtung (6) mit der Brennstoffzellenanordnung in dem thermisch isolierenden Schutzgehäuse (1) zusammengefaßt angeordnet sind.

2. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5), die Reformierungseinrichtung (6) und die Brennstoffzellenanordnung ohne den Strömungsquerschnitt zwischen diesen Komponenten verengende Rohrleitungen direkt miteinander verbunden sind.

3. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) in den Kathodenkreislauf zwischen dem Kathodenausgang und dem Kathodeneingang der Brennstoffzellen geschaltet ist, und daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) zum Beimischen des verbrannten Brenngases vom Anodenausgang in den Kathodengasstrom unter Verbrennung der brennbaren Restbestandteile des beigemischten Brenngases ausgebildet ist.

4. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) bezüglich der Gasströmung der Brennstoffzellenanordnung (4) nachgeschaltet und die Reformierungseinrichtung (6) der katalytischen Verbrennungseinrichtung (5) nachgeschaltet ist.

5. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Reformierungseinrichtung (6) als Wärmetauscher-Reformereinheit zur Übertragung der zur Reformierung benötigten thermischen Energie an das zu reformierende Brenngas aus dem heißen Abgas der katalytischen Verbrennungseinrichtung (5) ausgebildet ist.

6. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Gasströme vom Anodenausgang und vom Kathodenausgang der Brennstoffzellen unmittelbar an der Brennstoffzellenanordnung zusammengeführt werden, so daß jegliche Druckdifferenz zwischen den Gasströmen in den Brennstoffzellen vermieden wird.

7. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine zur Vorwärmung des Brenngases dienende Brenngasvorwärmungseinrichtung (7) in die Wärmetauscher-Reformereinheit (6) integriert ist.

8. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5), die Wärmetauscher-Reformereinheit (6) und die Brenngasvorwärmungseinrichtung (7) als eine integrierte Einheit ausgebildet sind, in der ein rekuperativer Wärmeübergang der bei der katalytischen Verbrennung erzeugten thermischen Energie durch Metall

in eine Reformierzone der integrierten Einheit erfolgt.

9. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin ein Wärmetauscher (8) zur Auskoppelung von Nutz- 5  
wärme aus dem Kathodengasstrom innerhalb des Schutzgehäuses (1) angeordnet ist.

10. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine innerhalb 10  
des Schutzgehäuses (1) angeordnete und durch einen außerhalb des Schutzgehäuses (1) befindlichen Antrieb angetriebene Gebläseeinrichtung (2) zur Umwälzung des Kathodengasstroms.

11. Brennstoffzellenanordnung nach Anspruch 10, 15  
dadurch gekennzeichnet, daß die Gebläseeinrichtung (2) in Strömungsrichtung vor der Brennstoffzellenanordnung angeordnet und mit dem Kathodeneingang gekoppelt ist.

12. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Gebläseein- 20  
richtung (2) mit ihrem Antrieb über eine durch das Schutzgehäuse (1) geführte Kraftübertragungseinrichtung, insbesondere eine Antriebswelle, gekoppelt ist, über die Frischluft von außerhalb des 25  
Schutzgehäuses (1) unter Kühlung der Kraftübertragungseinrichtung in den Kathodengasstrom eingeführt wird.

13. Brennstoffzellenmodul nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die katalytische Verbrennungseinrichtung (5) durch eine 30  
auf der gasseitigen Oberfläche des Wärmetauschers (8) aufgebrachte katalytisch wirksame Beschichtung gebildet ist, wobei das Brenngas vom Anodenausgang dem Kathodengasstrom vor oder 35  
in dem Wärmetauscher (8) beigemischt wird.

14. Brennstoffzellenmodul nach Anspruch 13, 40  
dadurch gekennzeichnet, daß die katalytisch wirksame Beschichtung durch eine Nickelschicht gebildet ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

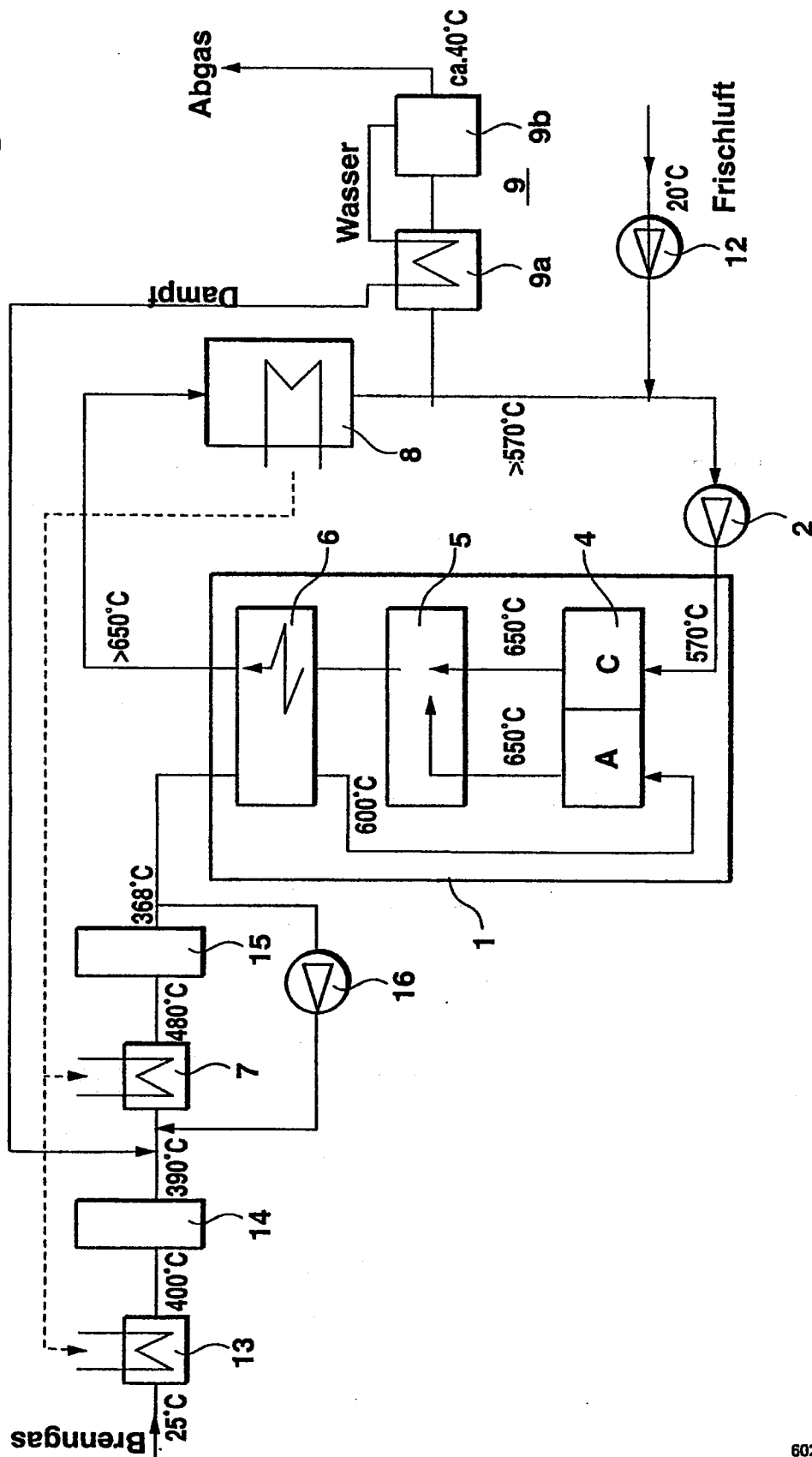
55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1





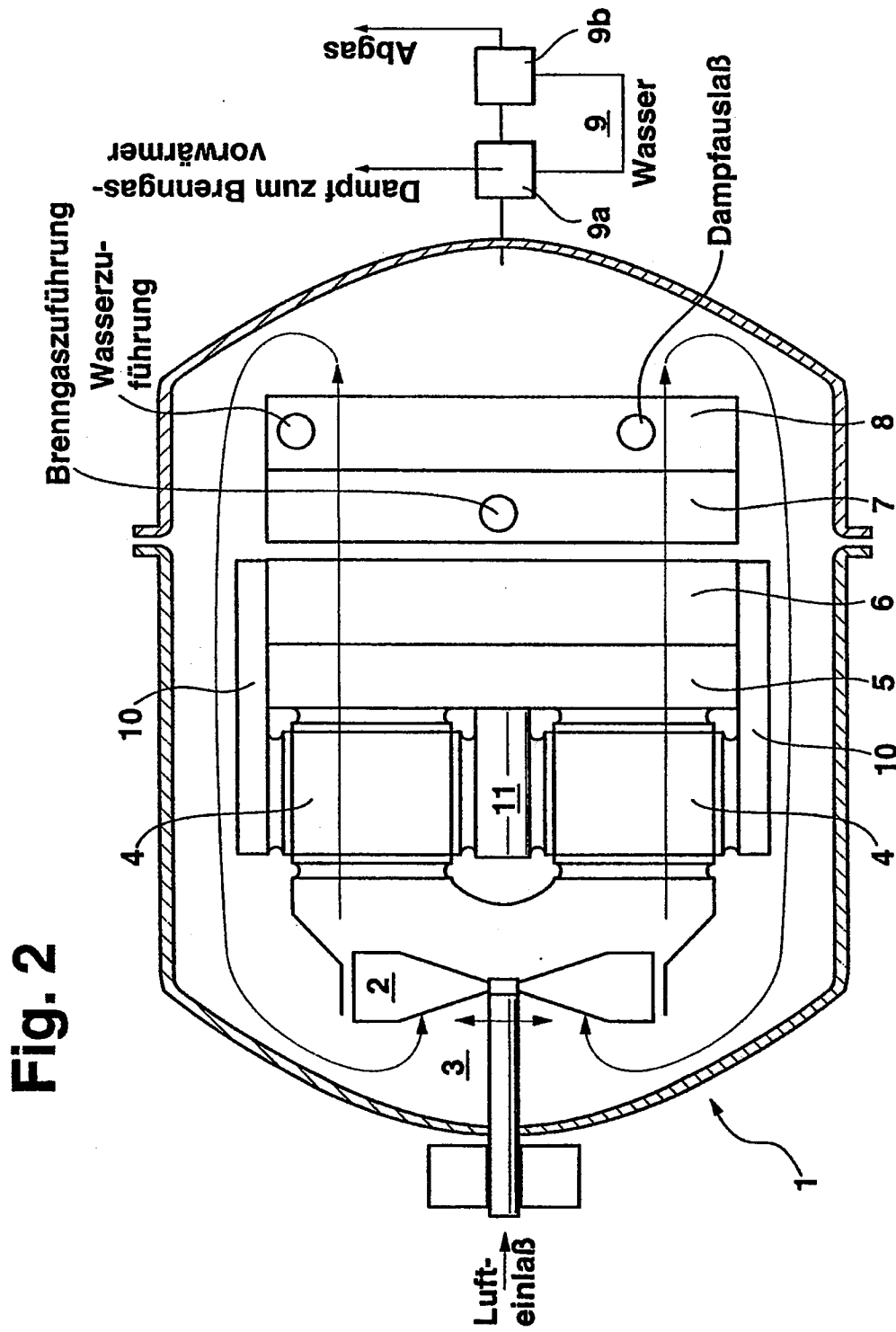


Fig. 3

